

Ⅲ-B48

トンネル掘削時の地山挙動に関する一考察

建設省土木研究所 正会員 砂金 伸治
同 上 正会員 真下 英人
同 上 正会員 鈴木 正彦

1. はじめに

合理的かつ経済的な支保設計のためには地山挙動の実態に即した設計法の確立が不可欠であるが、地山挙動は亀裂の有無によって大きく異なり、それぞれの場合で設計に用いる力学理論も異なると考えられる。すなわち、亀裂の影響が少なく、連続体の挙動を示す地山においては、弾性あるいは弾塑性理論を用いた支保設計が可能と考えられるが、亀裂の影響により不連続体の挙動を示す場合には別のアプローチが必要となる。

本研究では、同一トンネルの同一地質と考えられる区間で同一の支保パターンを適用していれば、連続体の挙動を示す限りは土被り変化に相当する分の変位が発生することに着目し、計測されたトンネルの各断面の変位量から有限要素法を用いて弾性係数を求め、その中から1断面を選択し、その断面の弾性係数をトンネル全線に適用し算定した解析的な変位量と、実測の変位量との整合を見ることで、地山挙動の検討を行った。また、その整合性と切羽観察表に示されている指標との関連性について考察を加えた。

2. 解析方法

本研究で使用したトンネルの諸元を表-1に示す。対象とした各トンネルの区間は、切羽は概ね安定しており、湧水の影響も少なく補助工法を採用していない。また解析に使用した地山と覆工の諸定数を表-2に示した。本解析では弾性解析とし、支保工の弾性係数は、吹付コンクリートと鋼材の弾性係数と断面積を基にして等価な弾性係数を算定し使用した。また、地山の弾性係数の算定には、すべての計測断面の天端沈下量とS.L.の内空変位量を用い、それぞれ収束変位の値と一致するように側圧係数と地山の弾性係数を変化させていき、繰り返し計算により地山の弾性係数を算定した。

その算定した弾性係数のうち、概ね土被りが大きい地点あるいは変位量の大きかった地点の弾性係数を代表させて、それぞれの断面における変位量を算定した。また、ロックボルトについては、地山の挙動を大まかに把握する目的のために基本的に考慮しなかったが、Cトンネルの2つの断面でロックボルトを考慮した解析を行った結果によるとロックボルトの有無で弾性係数は10%程度の差を生じていた。また、切羽観察表に示されている指標との関連については、土圧による

変状に関係する指標のうち、影響が大きいと報告⁹⁾されている表-3に示した各指標について考慮した。

地山挙動、切羽観察、連続体、変位計測、支保設計

〒305 茨城県つくば市旭1 Tel:0298-64-4689 Fax:0298-64-0178

表-1 解析使用トンネル諸元

トンネル名	岩種	延長(m)	対象支保パターン	最大土被り(m)	単位体積重量(gf/cm ³)
A	花崗岩	1770	C II	203.5	2.30
B	砂岩・粘板岩	1600	D I	246.2	2.58
C	泥岩	487	D I	56.6	2.50
D	花崗岩	380	D I	60.0	2.30

表-2 地山および覆工の諸定数

吹付コンクリートの弾性係数	$3.5 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$
H鋼の弾性係数	$2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
覆工のポアソン比	0.3
地山のポアソン比	0.3
応力開放率(掘削時)	40%
(支保建込み時)	60%

表-3 切羽観察表での指標

評価指標	圧縮強度(kgf/cm ²)	風化変質	割目の状態
1	$\sigma \geq 1000$	なし・健全	密着
2	200~1000	強度やや低下	部分的に開口
3	50~200	強度相当に低下	開口
4	$\sigma < 50$	破碎・未固結	未固結

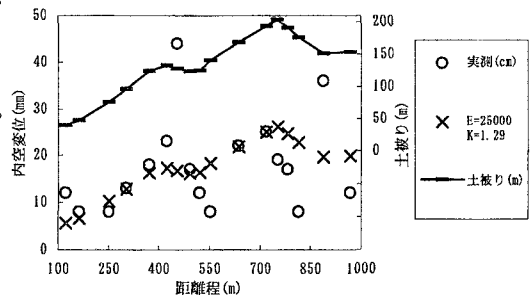


図-1 Aトンネル内空変位量変化

3. 解析結果

図-1～4にA～Dトンネルの実測および解析による内空変位量とその地点の土被り厚、坑口からの距離程の変化を示した。図中○印の実測が現場で得られた内空変位量である。また×印が2で述べた方法による解析で算定した弾性係数を用いて、各地点の内空変位量を計算してプロットしたものである。図-1にAトンネルについて解析を行った結果を示す。連続体の挙動を示す地山であれば、弾性係数が一定であれば、土被り厚の増減に従って内空変位量も増減する。この図から土被りに見合った変位の変化が見てとれる部分が多い。ここで、観察表の評価指標は、圧縮強度-風化変質-割目の状態の順で表わすと2-2-2、2-2-3、3-2-2、3-2-3の4通りであった。全体的な傾向としては、粘土を岩の間に挟む傾向の多い、割目の状態が3と評価されている断面では、土被りに見合った変位が発生しない場合が多く見られた。次にBトンネルの結果を図-2に示す。距離程が0～500m付近では観察表は3-3-3、または3-3-4であり、また500～1000m付近では3-3-3または4-3-3であり、1000～1500m付近では3-3-2または3-3-3といった評価であった。変位はおおむね土被り厚に応じて変化しており土被りが最大および最小の地点で実測変位が解析値と一致している。ただし、割目の状態が4の場合はほとんどのケースで切羽面で粘板岩を不規則に挟んでおり、変位が土被り厚と見合っている部分と見合っていない部分があった。すなわち、観察表の各指標の評価が同じでも変位量にばらつきを生じる傾向が大ききことが認められた。次に図-3にCトンネルの結果を示す。データ量は少ないものの土被り厚の変化に見合った変位の変化が生じていないと思われ、この区間での観察表は350～450mで3-2-3または3-2-4となっていた。また、図-4にDトンネルの結果を示したが、観察表は3-3-3または3-3-4となっており、Cトンネルの場合と類似した結果が得られた。以上より亀裂の発達や風化が著しいと評価されている地山の中には連続体の挙動をしているとは考えにくいと思われるものがあり、亀裂の影響が現れる地山の变形挙動のメカニズムは亀裂の少ない地山の挙動と大きく異なることが考えられる。

4. おわりに

土被りの変化に応じてそれに見合った変位が発生する地山、変位が発生しない地山があることが分かった。また、データ数は少ないものの、切羽観察表の指標より、風化や変質が少なく、亀裂が少ない場合には土被りに応じた変位が発生し、連続体を基本とする弾性理論の結果にも整合する挙動が見られるのに対して、切羽での地山が粘土や泥岩を挟んだ場合や風化が著しい場合には連続体の挙動と整合しにくくなる傾向があることが分かった。今後はより多くのトンネルデータを用い、地山挙動の精査な分析を行う予定である。

参考文献

1) 大杉・真下・池口：切羽観察からの地山評価に関する研究、土木学会第51回年次学術講演会概要集、Ⅲ-pp.112～113、平成8年9月

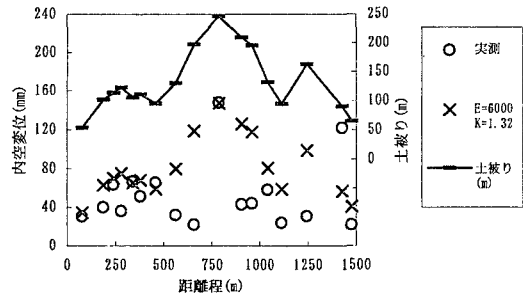


図-2 Bトンネル内空変位量変化

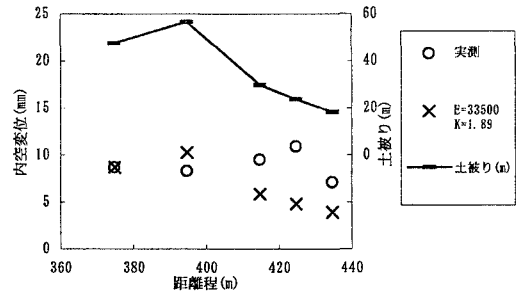


図-3 Cトンネル内空変位量変化

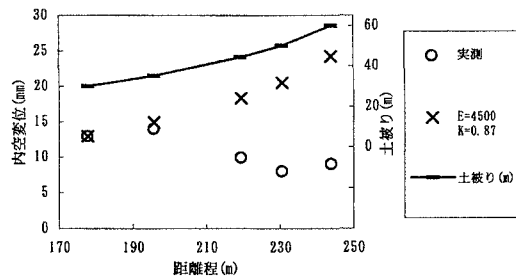


図-4 Dトンネル内空変位量変化